

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

26 JAN 2005

(43) 国際公開日  
2004年2月5日 (05.02.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/012268 A1

(51) 国際特許分類: H01L 27/12, 21/265  
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009007  
 (22) 国際出願日: 2003年7月16日 (16.07.2003)  
 (25) 国際出願の言語: 日本語  
 (26) 国際公開の言語: 日本語  
 (30) 優先権データ:  
 特願2002-219308 2002年7月29日 (29.07.2002) JP  
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 信越  
 半導体株式会社 (SHIN-ETSU HANDOTAI CO.,LTD.)  
 [JP/JP]; 〒100-0005 東京都千代田区丸の内1丁目  
 4番2号 Tokyo (JP).  
 (72) 発明者; および  
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 阿賀 浩司

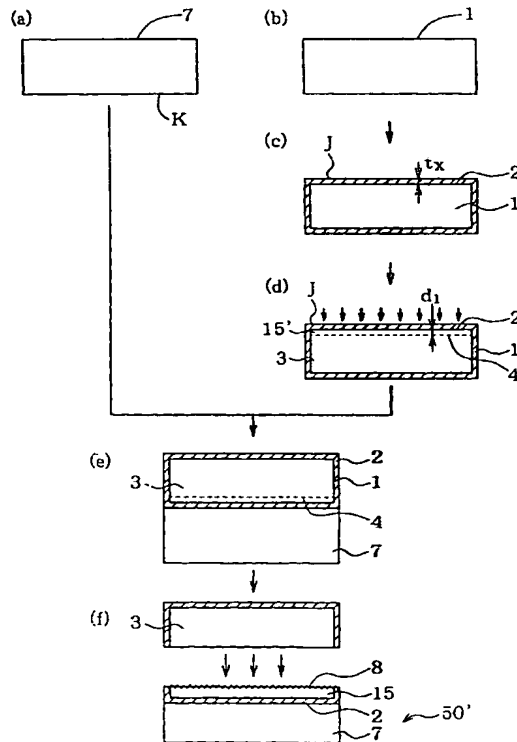
(AGA,Hiroji) [JP/JP]; 〒379-0196 群馬県安中市磯部  
 2丁目13番1号 信越半導体株式会社 半導体磯部研  
 究所内 Gunma (JP). 三谷 清 (MITANI,Kiyoshi) [JP/JP];  
 〒379-0196 群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信  
 越半導体株式会社 半導体磯部研究所内 Gunma (JP).  
 (74) 代理人: 菅原 正倫 (SUGAWARA,Seirin); 〒460-0008  
 愛知県名古屋市中区栄二丁目9番30号 栄山吉ビ  
 ル Aichi (JP).  
 (81) 指定国 (国内): CN, KR, US.  
 (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
 CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
 NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:  
 — 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: SOI WAFER MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: SOI ウェーハの製造方法



(57) Abstract: To control the thickness of a bond silicon single crystal thin film (15) depending on the thickness of an SOI layer (5) to be formed, the depth  $d1+tx$  from a first major surface (J) of a separation ion-implantation layer (4) in the separation ion-implantation layer forming step is controlled by the energy of the ion implantation. The dose of the ion implantation is set smaller as the depth from the first major surface (J) of a separation ion-implantation layer (4) is smaller. If the dose is small, the surface roughness of the separation surface is small. Therefore, the polishing allowance of the separation surface of the bond silicon single crystal thin film can be set small in the planarization step. As a result, the thickness uniformness of the thin SOI layer can be enhanced. Consequently, an SOI wafer manufacturing method in which even if the required level of the thickness of the SOI layer is very low, the thickness uniformness of a wafer and the thickness uniformness among wafers are both enhanced to an adequately low level is provided.

(57) 要約: 得べきSOI層5の厚さに応じて結合シリコン単結晶薄膜15の厚さを調整するために、剥離用イオン注入層形成工程における剥離用イオン注入層4の第一主表面Jからの形成深さ $d1+tx$ を、イオン注入のエネルギーにより調整する。そして、剥離用イオン注入層4の第一主表面Jからの形成深さが小さくなるほど、イオン注入のドーズ量を小さく設定する。ドーズ量が小さくなれば、剥離面の面粗さも小さくなり、平坦化工程における結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の研磨代を小さく設定することができる。その結果、薄いSOI層を形成する場合に、該SOI層の膜厚均一性を向上させることができる。これにより、SOI層の要求膜厚レベルが非常に小さい場合においても、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベ

WO 2004/012268 A1

ルに軽減できるSOIウェーハの製造方法を提供する。

WO 2004/012268 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## S O I ウェーハの製造方法

## 5 技術分野

本発明は、S O I ウェーハの製造方法に関する。

## 背景技術

- 携帯電話等の移動体通信においては、数100MHz以上の高周波信号を取り扱うのが一般的となっており、高周波特性の良好な半導体デバイスが求められている。
- 例えば、CMOS-ICや高耐圧型IC等の半導体デバイスには、シリコン単結晶基板（以下、ベースウェーハともいう）上にシリコン酸化膜絶縁体層（埋め込み酸化膜）を形成し、その上に別のシリコン単結晶層をS O I（Silicon on Insulator）層として積層形成した、いわゆるS O I ウェーハが使用されている。
- これを高周波用の半導体デバイスに使用する場合、高周波損失低減のため、ベースウェーハとして高抵抗率のシリコン単結晶を使用することが必要である。

- ところで、S O I ウェーハの代表的な製造方法として貼り合わせ法がある。この貼り合わせ法は、ベースウェーハとなる第一シリコン単結晶基板と、デバイス形成領域であるS O I 層となる第二シリコン単結晶基板（以下、ボンドウェーハともいう）とをシリコン酸化膜を介して貼り合わせた後、ボンドウェーハを所望の膜厚まで減厚し、薄膜化することによりボンドウェーハをS O I 層とするものである。

- ボンドウェーハを減厚する方法にはいくつかあるが、均一な膜厚が比較的得やすく、かつ簡便な方法として、スマートカット法（商標名）が知られている。これは、ボンドウェーハの貼り合わせ面（第一主表面とする）に対し、一定深さ位置に水素高濃度層が形成されるように水素をイオン注入し、貼り合わせ後に該水素高濃度層

にてボンドウェーハを剥離する、というものである。

しかし、上記の方法には以下のような欠点がある。すなわち、スマートカット法では、図 8 A に示すように、剥離後に得られる S O I ウェーハ 5 0' (符号 7 はベースウェーハ、符号 2 はシリコン酸化膜である) の、S O I 層 8 の表面に、イオン  
5 注入に伴うダメージ層 8 a が形成され、また、剥離面そのものの粗さは通常製品レベルの S i ウェーハの鏡面と比べて相当大きくなる。従来、このダメージ層 8 a を除去するために、剥離後の S O I 層 8 の表面を、研磨代の小さい鏡面研磨 (タッチポリッシュと通称され、機械的化学的研磨が用いられる) により鏡面化することが行なわれてきた。この方法を用いると、剥離面の短波長の粗さ成分は比較的容易に  
10 除去できるものの、新たに研磨代のウェーハ面内不均一性が付加されてしまう難点がある。その結果、図 8 B に示すように、得られる S O I 層の膜厚  $t$  の分布には、同一ウェーハ内の標準偏差値  $\sigma 1$  にて  $1 \sim 2 \text{ nm}$  程度生ずる。また、図 8 C に示すように、同一仕様ウェーハロットにおけるウェーハ間の、膜厚  $t$  ( $t 1$ ,  $t 2$ ,  $t 3$ ) の標準偏差値  $\sigma 2$  では  $3 \text{ nm}$  程度以上の分布を生ずる。特に剥離面の面粗  
15 さが大きい場合は、研磨代が大きくなる分だけ、研磨後の S O I 層の膜厚分布は悪化しやすくなる。

一般に、厚い S O I 層が必要な場合は、水素高濃度層の形成深さを大きくし、薄い S O I 層が必要な場合は水素高濃度層の形成深さを小さくする。一方、従来より、剥離を生じさせるのには、水素高濃度層の形成深さによらず、一定の臨界ドーズ量  
20 以上に水素注入する必要があると考えられており、特に薄い S O I 層を形成する場合も、比較的厚い S O I 層を形成する場合と同程度のイオンドーズ量レベルが採用されてきた。その結果、剥離面の粗さは、薄い S O I 層を得る場合においても、厚い S O I 層を形成する場合と同程度に大きくならざるを得ないから、研磨代のウェーハ面内不均一性の影響は、S O I 層厚さが小さくなる分だけ相対的に拡大する。  
25 こうした膜厚のばらつきは、現状の鏡面研磨技術の水準からすれば不可避免的なも

のであり、SOI層の膜厚が100nm程度以上の膜厚に留まる限りは、特に大きな問題となるものではない。しかしながら、近年、SOIウェーハの主要な用途であるCMOS-LSI等においては、素子の微細化及び高集積化の傾向はますます著しくなっており、数年前まで100nm程度で超薄膜と称されていたものも、今  
5 ではさして驚くに値するものではなくなってしまった。現在、超薄膜SOI層として求められている平均膜厚は100nmを大きく下回り、数10nm（例えば20～50nm）から場合により10nm程度にもなっている。この場合、上記のような膜厚不均一のレベルは、狙いとする平均膜厚の10～数10%にも及び、SOIウェーハを用いた半導体デバイスの品質ばらつきや、製造歩留まり低下に直結して  
10 しまうことはいうまでもない。

本発明の課題は、SOI層の要求膜厚レベルが非常に小さい場合においても、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減することが可能であり、ひいては超微細あるいは高集積度のCMOS-LSI等に加工した場合においても、品質ばらつきを抑制し製造歩留まりを向上させること  
15 ができるSOIウェーハの製造方法を提供することにある。

#### 発明の開示

上記課題を解決するために、本発明のSOIウェーハの製造方法は、第一基板（ベースウェーハに相当する）とシリコン単結晶からなる第二基板（ボンドウェーハに相当する）との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、  
20

第二基板の第一主表面側のイオン注入表面からイオンを打ち込むことにより剥離用イオン注入層を形成する剥離用イオン注入層形成工程と、

剥離用イオン注入層が形成された第二基板と、第一基板との第一主表面同士を、  
25 絶縁膜を介して貼り合わせる貼り合わせ工程と、

該貼り合わせ工程の後、SOI層となるべき結合シリコン単結晶薄膜を、第二基板より剥離用イオン注入層において剥離する剥離工程と、

結合シリコン単結晶薄膜の剥離面側を平坦化してSOI層とする平坦化工程と、を含み、

- 5 得るべきSOI層の厚さに応じて結合シリコン単結晶薄膜の厚さを調整するために、剥離用イオン注入層形成工程における剥離用イオン注入層のイオン注入表面からの形成深さを、イオン注入のエネルギーの大きさにより調整するとともに、剥離用イオン注入層のイオン注入表面からの形成深さが小さくなるほど、イオン注入のドーズ量を小さく設定することを特徴とする。なお、本明細書において「イオン注
- 10 入表面」とは、ボンドウエーハの第一主表面に絶縁膜を形成する場合はその絶縁膜表面であり、絶縁膜を形成しない場合はボンドウエーハの第一主表面（シリコン表面）である。
- 本発明者は、スマートカット法において、ボンドウエーハに剥離を生じさせるためのイオン注入のドーズ量につき、実験により再度検証を行なったところ、従来には
- 15 はない新規な知見を得た。すなわち、必要とされるSOI層の厚さに応じて剥離用イオン注入層の形成深さを調整するには、イオン注入のエネルギーを調整しなければならない。そして、剥離を生ずるための臨界イオンドーズ量は、従来、イオン注入深さによらず一定と考えられていたのが、本発明者の検討により、イオン注入深さが小さいほど少ないドーズ量でも剥離を生ずることがわかった。つまり、剥離用
- 20 イオン注入層の形成深さが小さいほど、剥離に必要な臨界ドーズ量は小さくなるのである。他方、剥離面の粗さも、打ち込むイオンのドーズ量に関係し、ドーズ量が小さくできれば剥離面の粗さも小さくなる。従って、剥離用イオン注入層の第一主表面からの形成深さが小さくなる場合は、イオン注入のドーズ量を小さく設定する。
- ドーズ量が小さくなれば、剥離面の面粗さも小さくなり、薄いSOI層を形成する
- 25 場合に、該SOI層の膜厚均一性を向上させることができる。

さらに、平坦化工程は、結合シリコン単結晶薄膜の剥離面側を研磨する研磨工程を含むものとする場合に、SOI層の膜厚均一性を向上させることができる。具体的には、剥離により得られる結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の面粗さが小さいほど、研磨工程における結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の研磨代を小さく設定することができる。つまり、剥離面の面粗さが小さくなれば、研磨工程における結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の研磨代を縮小でき、該研磨代のウェーハ面内不均一性の影響を効果的に軽減できる。

例えば、ボンドウェーハに形成する絶縁膜の厚さを一定とすると、得るべきSOI層の厚さが小さくなる場合、イオン注入のドーズ量も該厚さに応じて小さく設定し、かつ、研磨工程における結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の研磨代を小さく設定する。つまり、結合シリコン単結晶薄膜ひいては最終的なSOI層が薄くなれば、剥離用イオン注入層の形成位置が浅くなるのでイオン注入のドーズ量が減り、剥離面平坦化の際の研磨しろを小さくできるので研磨代不均一の影響が大幅に軽減される。その結果、SOI層厚さが小さいにもかかわらず、ウェーハ内の膜厚均一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減することが可能となる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明によるSOIウェーハ製造方法の第一実施形態を示す工程説明図。

図2A、図2B、図2Cは、本発明の第一の効果説明図。

図3は、本発明によるSOIウェーハ製造方法の第二実施形態を示す工程説明図。

図4は、本発明によるSOIウェーハ製造方法の第三実施形態を示す工程説明図。

図5は、本発明の第二の効果説明図。

図6は、イオン注入のエネルギー（加速電圧）と、剥離を生ずる臨界ドーズ量との関係を示すグラフ。

図7は、イオン注入のエネルギー（加速電圧）と、結合シリコン単結晶薄膜の剥

離厚さの関係を示すグラフ。

図 8 A、図 8 B、図 8 C は、S O I ウェーハの製造に係る従来法の問題点を示す図。

## 5 発明を実施するための最良の形態

以下に本発明を実施するための最良の形態について述べる。

図 1 は本発明に係る S O I ウェーハの製造方法の基本的な実施形態を説明するものである。まず、工程 (a) に示すように、例えばシリコン単結晶からなる第一基板としてのベースウェーハ 7 と、工程 (b) に示す第二シリコン単結晶基板としての

10 のボンドウェーハ 1 とを用意する。工程 (c) に示すように、ボンドウェーハ 2 の少なくとも第一主表面 J 側に絶縁膜としてシリコン酸化膜 2 を形成している。このシリコン酸化膜 2 の形成は、例えば、ウェット酸化やドライ酸化などの熱酸化により形成することができるが、C V D (Chemical Vapor Deposition) 等の方法を採用することも可能である。シリコン酸化膜の膜厚  $t_x$  は、例えば MOS - F E T 等

15 の絶縁層として使用されることを考慮して、50 nm 以上 2  $\mu$  m 以下程度の値とする。ベースウェーハ 7 としては、石英基板やサファイア基板などの絶縁性基板や、G a A s、I n P、S i C などの化合物半導体基板を用いることもできるが、大口径化やコスト面を考慮すると、本実施の形態のようにシリコン単結晶基板を用いることが好ましい。また、シリコン酸化膜 2 の代わりに、シリコン窒化膜やシリコン

20 酸化窒化膜などを絶縁膜として形成することもできる。

次に、工程 (d) に示すように、ボンドウェーハ 1 の第一主表面 J 側、本実施形態ではシリコン酸化膜 2 の表面をイオン注入面として、例えば水素イオンビームを照射することによりイオンを打ち込み、剥離用イオン注入層 4 を形成する。剥離用イオン注入層 4 を形成するためのイオンは、水素イオン及び希ガス (H e、N e、

25 A r、K r、X e) イオンよりなるイオン群から選ばれる少なくとも 1 種類とする

ことができる。本実施形態では水素イオンを用いるが、水素イオンに代えて、ヘリウムイオン、ネオンイオンあるいはアルゴンイオンなどの希ガスイオンを打ち込むことにより剥離用イオン注入層 4 を形成してもよい。

剥離用イオン注入層 4 を形成したボンドウエーハ 1 とベースウェーハ 7 とは、洗浄液にて洗浄され、さらに、工程 (e) に示すように、両ウェーハ 1, 7 をシリコン酸化膜 2 の形成側（すなわち第一主表面 J, K 側）にて貼り合わせる。そして、工程 (f) に示すように、その積層体を 400～600℃の低温にて熱処理することにより、ボンドウエーハ 1 は前記した剥離用イオン注入層 4 の概ね濃度ピーク位置において剥離し、ベースウェーハ 7 側に残留した部分が結合シリコン単結晶薄膜 15 となる（剥離工程）。なお、剥離用イオン注入層 4 を形成する際のイオン注入量を高めたり、あるいは重ね合わせる面に対して予めプラズマ処理を行なって表面を活性化したりすることにより、剥離熱処理を省略できる場合もある。また、剥離後の残余のボンドウエーハ部分 3 は、剥離面を再研磨後、再びボンドウエーハ又はベースウェーハとして再利用が可能である。

最終的な SOI ウェーハを得るには、上記剥離工程後、ベースウェーハ 7 と SOI 層（結合シリコン単結晶薄膜 15）とをシリコン酸化膜 2 を介して強固に結合する結合熱処理が必要である。この結合熱処理は、アルゴンガス等の不活性ガスや水素ガスあるいはこれらの混合ガス中にて、通常 1000℃以上 1250℃以下の高温で行なわれる。なお、該結合熱処理に先立って、これよりも低温で、SOI 層の表面を保護するための酸化熱処理（700℃以上 1000℃以下）を行なうこともできる。

また、剥離後の結合シリコン単結晶薄膜 15 の剥離面を、あるいはこれを研磨により平坦化した研磨表面をさらに平坦化する平坦化熱処理を行なうことができる。この平坦化熱処理は、アルゴンガス等の不活性ガスや水素ガスあるいはこれらの混合ガス中にて 1100～1380℃で行なうことができる。具体的には、一般的な

バッチ式の縦型炉や横型炉といったヒーター加熱式の熱処理炉を用いて行なうことができるほか、ランプ加熱等により熱処理を数秒から数分程度で完結する枚葉式RTA装置を用いて行なうこともできる。この平坦化熱処理を、前述の結合熱処理と兼ねて行なうこともできる。

- 5 図1の工程(d)において、剥離用イオン注入層4は、ウェーハの深さ方向の水素濃度プロファイルを測定したとき、例えば50nm以上300nm以下の深さ(d1:ただし、表面にシリコン酸化膜2が形成される場合は、そのシリコン酸化膜2を除いた深さで表す)に水素濃度のピーク位置が生ずるように形成する。該深さd1は、結合シリコン単結晶薄膜15の厚さに対応するものである。第一の深さ
- 10 d1が50nm未満では、十分な厚さの結合シリコン単結晶薄膜15が得られず、300nmを超えると、50nm以下のSOI層を得たい場合に、後述する研磨代が大きくなり過ぎ、膜厚分布を良好に確保できなくなる。

- 上記剥離用イオン注入層4を形成する際に、該剥離用イオン注入層4のイオン注入表面からの形成深さ $d1 + tx$ を、イオン注入のエネルギー(加速電圧)により
- 15 調整する。具体的には、該剥離用イオン注入層4の形成深さ( $d1 + tx$ )が大きくなるほど、イオン注入のエネルギーを大きく設定する。シリコン酸化膜の厚さ $tx$ が例えば20nm~200nmに設定され、結合シリコン単結晶薄膜15の厚さに対応する剥離用イオン注入層4の形成深さd1が前述の50nm以上300nm以下に設定される場合、 $d1 + tx$ は70nm以上500nm以下である。水素イ
- 20 オンを用いたイオン注入により、該深さに剥離用イオン注入層4を形成するには、イオン注入のエネルギーを3keV~50keV程度に調整するのがよい。

- そして、剥離用イオン注入層4のイオン注入表面からの形成深さ $d1 + tx$ が小さくなるほど、剥離用イオン注入層4にて剥離を生じうるためのイオン注入の臨界ドーズ量が小さくなる。従って、剥離用イオン注入層4の形成深さ $d1 + tx$ が小
- 25 さくなるほど、イオンのドーズ量は小さく設定される。 $d1 + tx$ が70nm以上

500 nm以下である場合、剥離用イオン注入層4を形成するためのイオンのドーズ量は、 $3 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>2</sup>以上 $5 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>2</sup>以下に設定するのがよい。

図2A～図2Cに示すように、剥離後の結合シリコン単結晶薄膜15の表面（剥離面）は、イオン注入に伴うダメージ層8の形成により荒れたものとなる。そこで、

5 該ダメージ層8を研磨（タッチポリッシュ）により除去し、結合シリコン単結晶薄膜15の表面を平坦化して、最終的なSOI層5とし、SOIウェーハ50が得られる。この平坦化のための研磨代は、ダメージ層8による表面粗さが大きいほど大きく設定する必要がある。しかし、研磨代が大きくなれば、該研磨代の面内方向バラツキの影響が最終的なSOI層5の膜厚分布に大きく及ぶようになり、所期の膜厚分布のSOI層5を得るのが困難になる。従って、平坦化処理における研磨代はなるべく小さいことが望ましく、そのためには、剥離面の面粗さを小さくすることが有効となる。これは、平坦化工程を研磨のみにより行う場合だけではなく、熱処理による平坦化の後に研磨を行う場合、あるいは研磨による平坦化の後に熱処理を加える場合についても全く同様のことが言える。

15 既に説明した通り、剥離用イオン注入層4の形成深さが小さいほど、剥離に必要な臨界ドーズ量は小さくなる。剥離用イオン注入層4の形成深さ（図2A、図2B、図2C： $d_1 + t_x$ ）が小さくなる場合は、イオン注入のドーズ量も小さく設定される。シリコン酸化膜2の膜厚 $t_x$ が一定の場合、剥離用イオン注入層4の形成深さ $d_1 + t_x$ は、得るべきSOI層の厚さ（図2A、図2B、図2C： $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ）が小さくなるほど浅くなり、イオン注入のドーズ量も該厚さ（図2A、図2B、図2C： $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ 、あるいは深さ $d_1 + t_x$ ）に応じて小さく設定される。従って、ドーズ量を抑制して得られる薄い結合シリコン単結晶薄膜15の剥離面は粗さ $R_{ms}$ が減少し、平坦化工程における研磨代 $t_p$ を小さく設定することができる。その結果、SOI層5が薄くなるほど研磨代 $t_p$ が小さくて済むようになり、研磨代不均一の影響が及びにくくなって、SOI層5のウェーハ内の膜厚均

25

一性及びウェーハ間の膜厚均一性の双方を十分小さいレベルに軽減することが可能となる。例えば、SOI層5の平均厚さが10～50nm程度に設定される場合においても、SOI層5の膜厚均一性を、同一ウェーハ内の膜厚の標準偏差値にて例えば1.5nm以下に確保できる。また、図5に示すように、同一仕様のウェーハ間の膜厚 $t$  ( $= t_1, t_2, t_3$ )の標準偏差値 $\sigma_2$ にて3nm以下に確保することができる。特に、SOI層5が20nm程度あるいはそれ以下に超薄膜化される場合でも、ウェーハ内及びウェーハ間の膜厚バラツキを、十分実用に耐える範囲にまで軽減することが可能となる。また、最終膜厚次第では、研磨を省略し、熱処理による平坦化のみでも、従来に比べて格段に優れた表面状態を得ることができるので、膜厚バラツキを一層軽減することが可能となる。

図6は、水素イオン注入により剥離用イオン注入層を形成する場合の、剥離に必要な臨界ドーズ量を、水素イオン注入のエネルギー（加速電圧）を種々に変更しながら測定したものである。エネルギーが小さくなるほど、臨界ドーズ量が明らかに減少していることがわかる。また、臨界ドーズ量はエネルギーが減少すると略直線的に減少している（図中に、直線回帰により得られた、臨界ドーズ量とエネルギーとの関係を示す実験式を示している）。また、図7は、ボンドウェーハ1側にシリコン酸化膜2を30nm形成したときと、145nm形成した場合のそれぞれについて、水素イオン注入のエネルギー（加速電圧）と、結合シリコン単結晶薄膜15の剥離厚さ（つまり、剥離用イオン注入層4の形成深さ $d_1$ ）との関係を示すものである。いずれも高エネルギーとなるほど結合シリコン単結晶薄膜15の厚みが大きくなっていることがわかる。また、シリコン酸化膜2の厚さを薄くすることにより、同じ剥離厚さが、より低いエネルギーで得られることもわかる。

また、図1の工程に従い、以下の実験を行なった。すなわち、種々のイオン注入エネルギーとドーズ量を設定して剥離用イオン注入層4を形成することにより、剥離後のシリコン単結晶層厚さ（図1の $d_1$ ）を、ターゲットとするSOI層5の厚

- さに応じて種々に変更し、さらに、剥離面の粗さ  $R_{ms}$  に応じて研磨代を調整して機械的・化学的研磨により平坦化研磨を行なうことにより、SOI ウェーハを製造した。イオン注入のドーズ量は、設定したイオン注入のエネルギーに応じて、図6中の実験式 ( $y = 4 \times 10^{-14}x + 3 \times 10^{-16}$ ) に従い決定した。また、剥離面の粗さ  $R_{ms}$  は、以下の方法により算出された、二乗平均平方根粗さである。すなわち、原子間力顕微鏡によりSOI層主表面の3次元形状プロファイルを測定し、測定面積を  $10\mu m \times 10\mu m$  (高さ方向を  $z$  とする  $x-y-z$  直交座標系を設定したときに、 $x-y$  平面への投影面積にて表す) とし、測定点毎の高さ方向座標測定値を  $Z$ 、その平均値を  $Z_m$ 、全測定点についての  $(Z - Z_m)^2$  の和を  $\Sigma (Z - Z_m)^2$  と
- 10 して、これを測定点数  $N$  にて除した値の平方根を  $R_{ms}$  :

$$R_{ms} = \{ (1/N) \times \Sigma (Z - Z_m)^2 \}^{1/2}$$

として算出する。また、SOI層5の面内厚さ分布を、反射分光法により測定し、平均膜厚と均一性指数(標準偏差を  $\sigma$  としたときの、 $3\sigma$  の値)を求めた。以上の結果を表1に示す。

15

表 1

	比較例1	実施例1	実施例2	実施例3
ターゲット膜厚	300nm	50nm	20nm	20nm
シリコン酸化膜厚さ	150nm	150nm	150nm	30nm
注入エネルギー	50keV	15keV	11keV	3.6keV
ドーズ量	5.0E16	3.6E16	3.5E16	3.2E16
結合シリコン単結晶層厚	390nm	112nm	80nm	76nm
Rms(10 $\mu m$ 角)	6.7nm	4.1nm	3.7nm	3.3nm
研磨代	100nm	63nm	60nm	55nm
最終SOI層厚	290nm	49nm	20nm	21nm
膜厚均一性	2.0nm	1.2nm	1.0nm	0.7nm

SOI層5を薄膜化するためにイオン注入のエネルギーを小さくすると、必要な

ドーズ量も減少している。その結果、剥離面の粗さ  $R_{ms}$  も小さくなり、平坦化研磨も研磨代を小さく設定できることがわかる。そして、研磨代を小さく設定して得られる  $SOI$  層は、膜厚均一性も良好である。特に、膜厚均一性のレベルを  $1.5\text{ nm}$  以下に留めたいとき、剥離面の粗さ  $R_{ms}$  は  $4.5\text{ nm}$  以下となっていることが望ましい。

以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、請求の範囲の記載に基づく技術的範囲を逸脱しない限り、種々の変形ないし改良を付加することができる。例えば、図 3 の工程 (a) 及び (b) に示すように、ベースウェーハ 7 の側にのみシリコン酸化膜 2 を形成するようにしてもよい。この構成では、剥離用イオン注入層 4 を形成するボンドウエーハ 1 の側にシリコン酸化膜 2 が形成されないので、図 1 の工程と比較して、シリコン酸化膜 2 の厚さ  $t_x$  の分だけ剥離用イオン注入層 4 の形成深さ、ひいてはイオン注入のエネルギーを減少させることができる。その結果、同じ厚さの結合シリコン単結晶薄膜 15 ひいては  $SOI$  層 5 を得るのに、そのドーズ量を低く設定することができ、剥離面の粗さ低減ひいては平坦化の研磨代削減により、得られる  $SOI$  層 5 の膜厚均一性のレベルをさらに高めることができる。

この場合、剥離用イオン注入層 4 を形成する際に、シリコン酸化膜 2 が省略されているので、イオン注入深さは、第一主表面  $J'$  からの形成深さ  $d_1'$  と等しく設定すればよい。 $d_1'$  が前述の  $50\text{ nm}$  以上  $300\text{ nm}$  以下に設定される場合、水素イオンを用いたイオン注入により、該深さに剥離用イオン注入層 4 を形成するには、イオン注入のエネルギーを  $1\text{ keV} \sim 25\text{ keV}$  程度に調整するのがよい。また、剥離用イオン注入層 4 を形成するためのイオンのドーズ量は、 $3 \times 10^{16}$  個  $/\text{cm}^2$  以上  $4 \times 10^{16}$  個  $/\text{cm}^2$  以下に設定するのがよい。

また、図 4 の工程 (a) 及び (b) に示すように、ベースウェーハ 7 とボンドウエーハ 1 との双方の貼り合わせ面にシリコン酸化膜 2a, 2b を形成することもで

きる。この場合も、ベースウェーハ7側にシリコン酸化膜の厚みの一部が振り分けられるので、ボンドウェーハ1側のシリコン酸化膜2aの厚みを減ずることができ、図3の場合ほどではないが、同じ厚さの結合シリコン単結晶薄膜15ひいてはSOI層5を得るのに、イオン注入のドーズ量を低く設定することができ、得られるSOI層5の膜厚均一性のレベルをさらに高めることができる。

また、実際のSOIウェーハの製造工程（量産工程）において本発明は、製造すべきSOIウェーハのSOI層の膜厚や埋め込み酸化膜の膜厚の規格に応じて、注入深さの異なるイオン注入を行なう場合に好適に適用できる。例えば、埋め込み酸化膜の膜厚が一定で、SOI層の膜厚規格が異なる複数種類のSOIウェーハを製造する必要がある場合、膜厚規格が小さいほどイオン注入深さも小さくなり、イオン注入のエネルギーおよびドーズ量を小さく設定した条件でSOIウェーハを製造する。これにより、SOI層の膜厚が薄い規格品においても、膜厚が厚い規格品と比較して、相対的な膜厚均一性を悪化させることなく、優れた膜厚均一性を有するSOIウェーハを製造することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 第一基板とシリコン単結晶からなる第二基板との少なくともいずれかの第一主表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、
- 5 前記第二基板の第一主表面側のイオン注入表面からイオンを打ち込むことにより剥離用イオン注入層を形成する剥離用イオン注入層形成工程と、  
前記剥離用イオン注入層が形成された前記第二基板と、前記第一基板との前記第一主表面同士を、前記絶縁膜を介して貼り合わせる貼り合わせ工程と、  
該貼り合わせ工程の後、SOI層となるべき結合シリコン単結晶薄膜を、前記第
- 10 二基板より前記剥離用イオン注入層において剥離する剥離工程と、  
前記結合シリコン単結晶薄膜の剥離面側を平坦化して前記SOI層とする平坦化工程と、を含み、  
得るべきSOI層の厚さに応じて前記結合シリコン単結晶薄膜の厚さを調整するため、前記剥離用イオン注入層形成工程における前記剥離用イオン注入層の前記
- 15 イオン注入表面からの形成深さを、イオン注入のエネルギーの大きさにより調整するとともに、前記剥離用イオン注入層の前記イオン注入表面からの形成深さが小さくなるほど、前記イオン注入のドーズ量を小さく設定することを特徴とするSOIウェーハの製造方法。
2. 前記平坦化工程は、前記結合シリコン単結晶薄膜の剥離面側を研磨する研
- 20 磨工程を含むことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のSOIウェーハの製造方法。
3. 前記結合シリコン単結晶薄膜の剥離面の面粗さが小さいほど、前記研磨工程における前記結合シリコン単結晶薄膜の前記剥離面の研磨代を小さく設定することを特徴とする請求の範囲第2項記載のSOIウェーハの製造方法。
- 25 4. 前記得るべきSOI層の厚さが小さくなるほど前記イオン注入のドーズ量

を小さく設定し、かつ、前記研磨工程における前記結合シリコン単結晶薄膜の前記剥離面の研磨代を小さく設定することを特徴とする請求の範囲第3項記載のSOIウェーハの製造方法。

5. 前記絶縁膜をシリコン酸化膜とすることを特徴とする請求の範囲第1項ないし第4項のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。

図 1

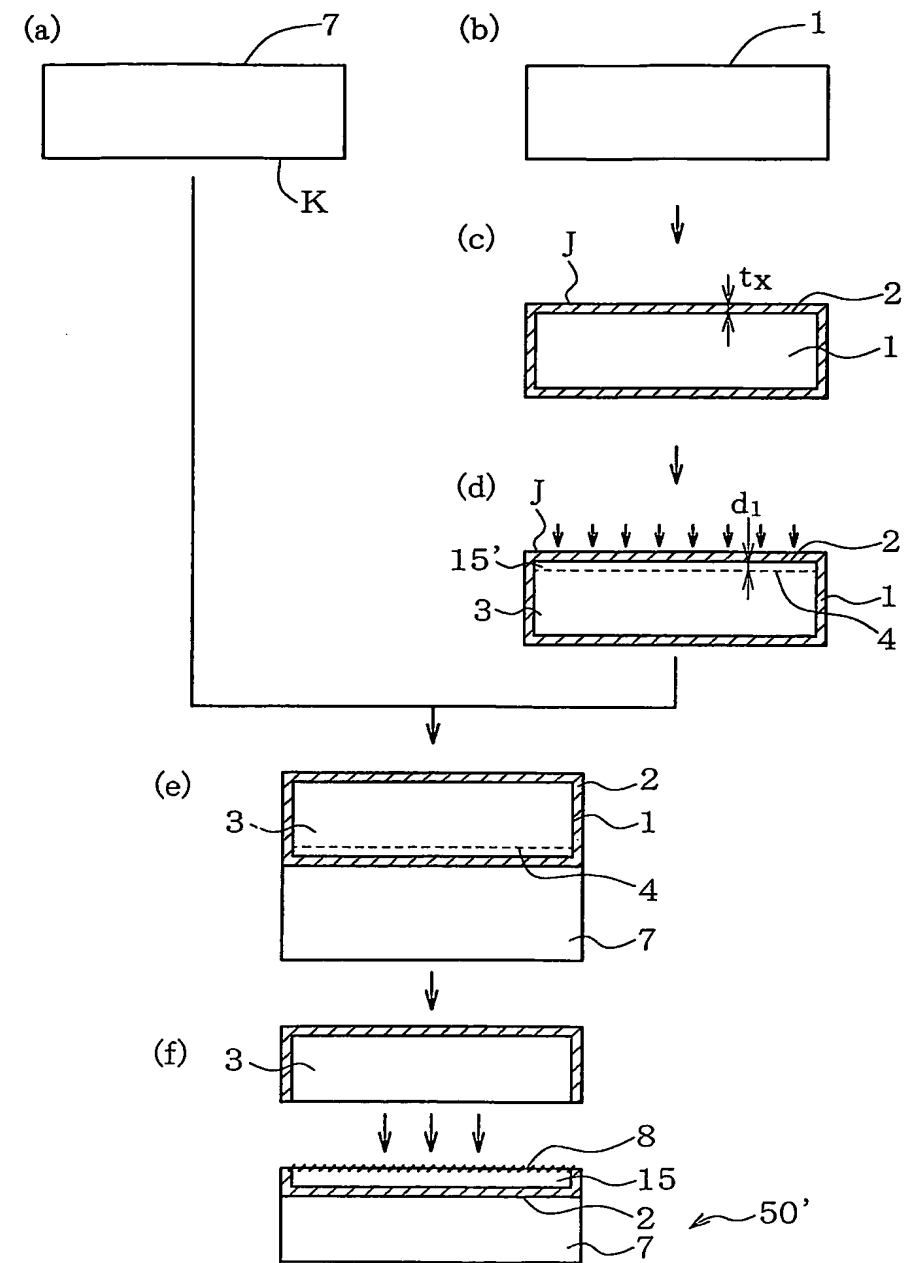


図2A

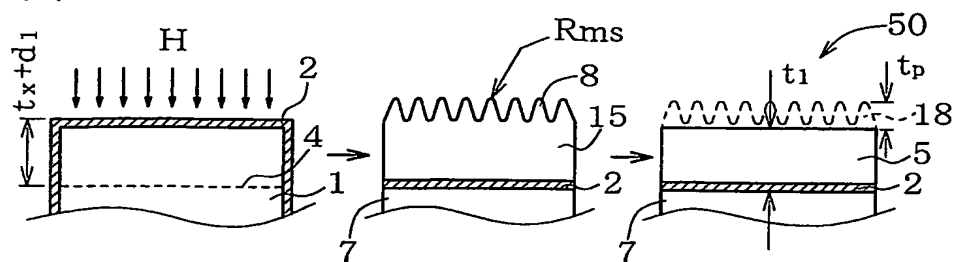


図2B

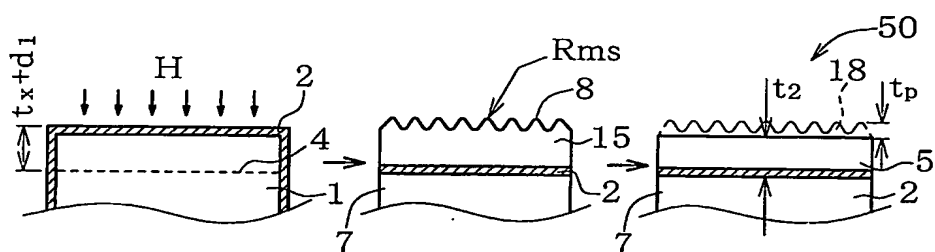


図2C

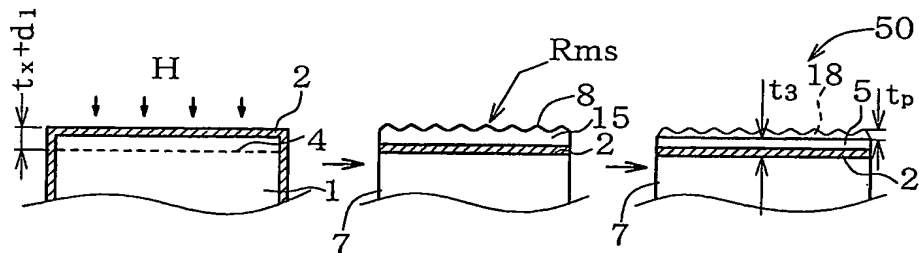


図3

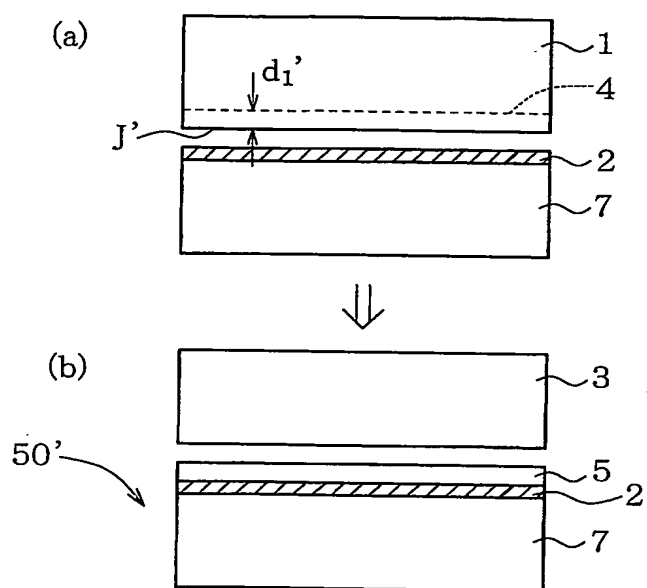


図4

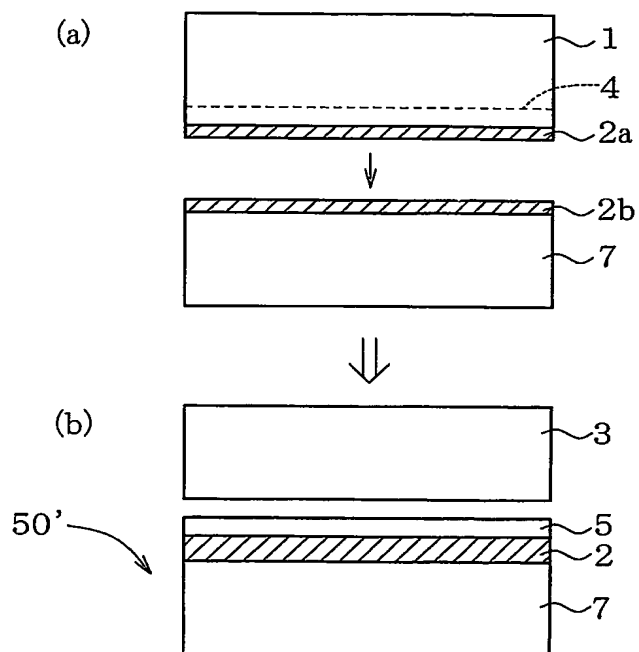
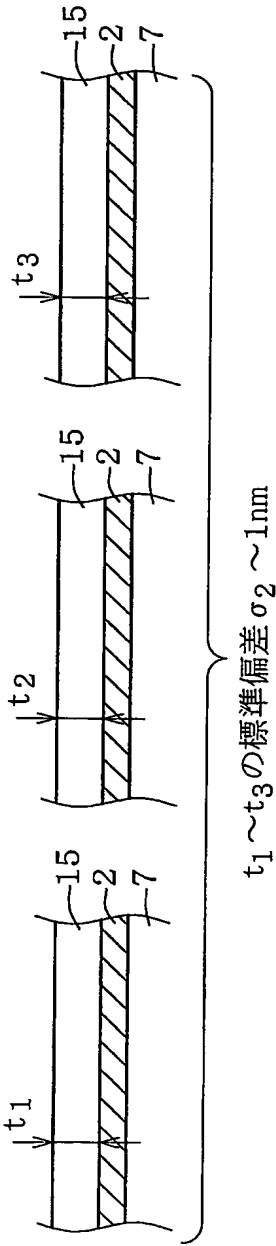
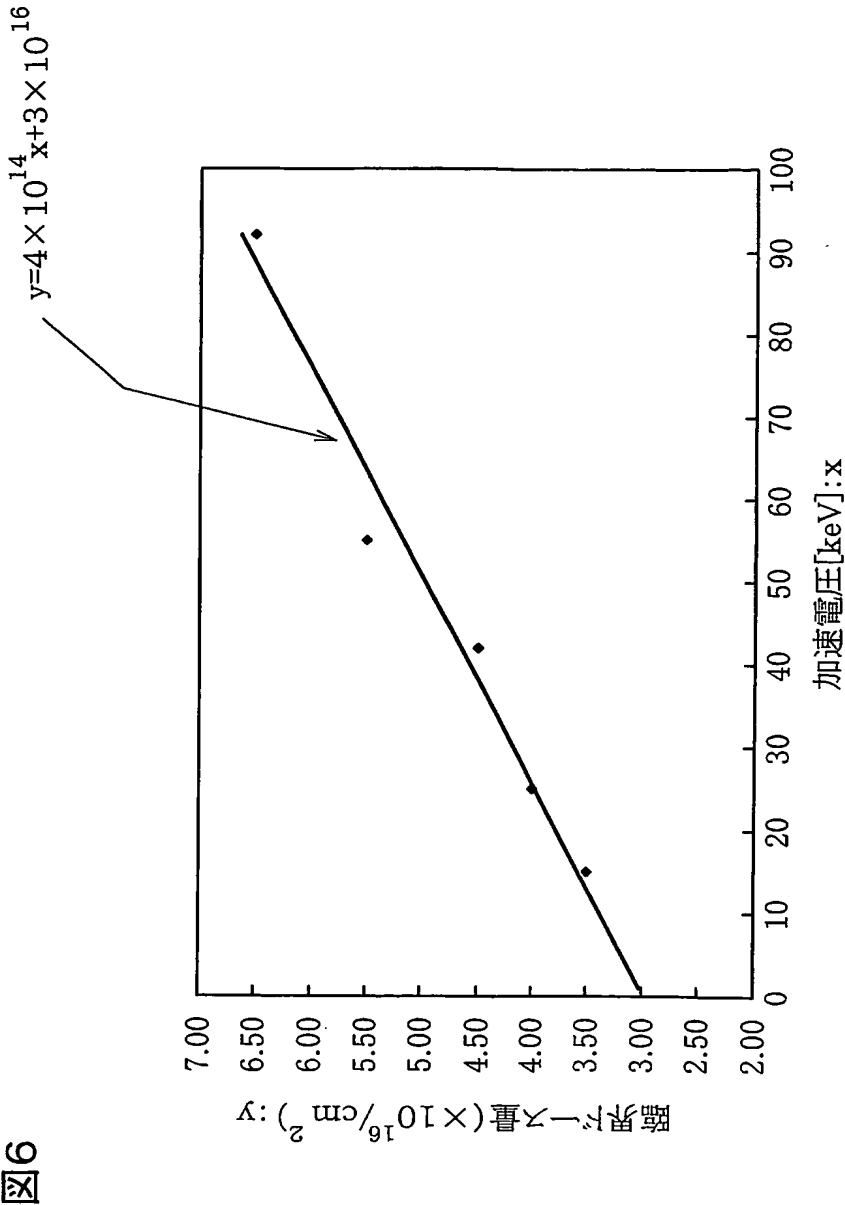


図5





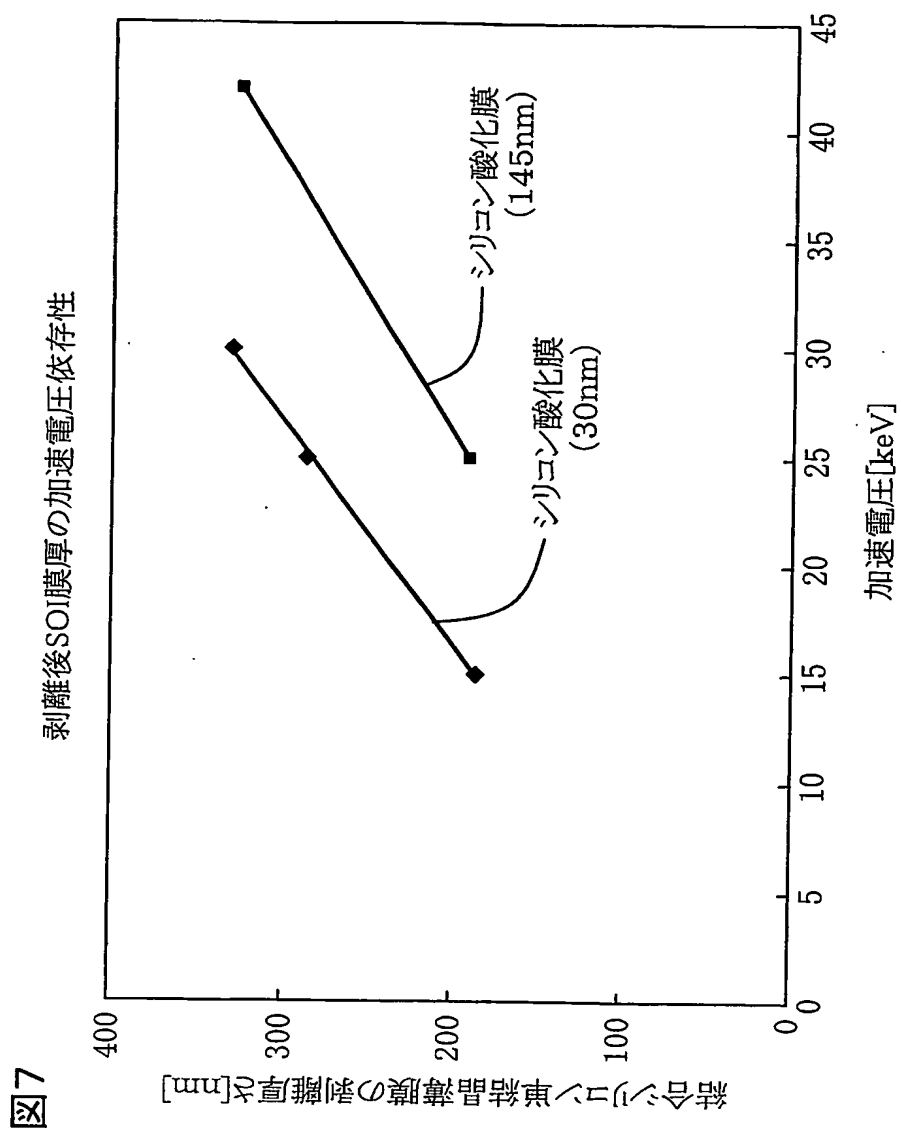


図8A

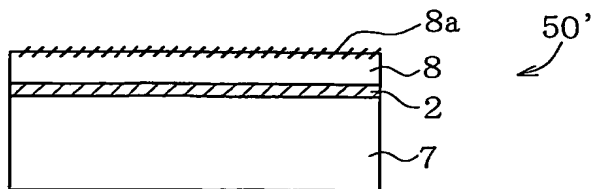


図8B

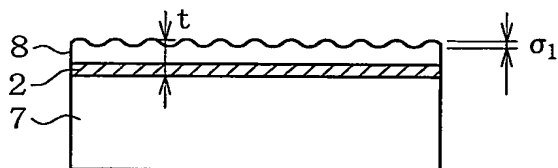
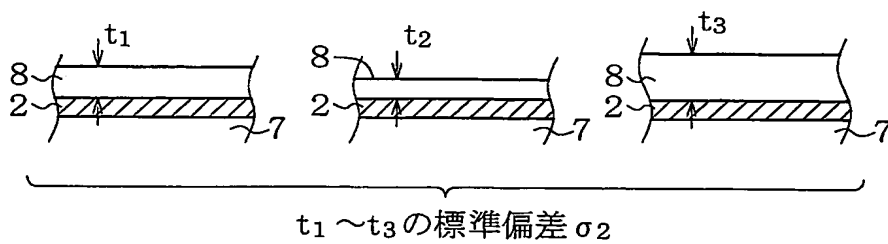


図8C



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09007

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L27/12, H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L27/12, H01L21/26-21/268, H01L21/322-21/326

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-502122 A (S.O.I. TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES), 22 January, 2002 (22.01.02), Full text; Figs. 1 to 6 & WO 99/39378 A1 & EP 1058946 A1 & FR 2774510 A1 & KR 2001040572 A & US 6429104 B1	1-5
Y	Written and edited by Haruhide FUSE et al., "Kokomade Kita Ion Chunyu Gijutsu", first edition, Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd., 25 June, 1991 (25.06.91), pages 34 to 35	1-5
Y	JP 11-329996 A (Mitsubishi Materials Corp.), 30 November, 1999 (30.11.99), Full text; Fig. 1 (Family: none)	2-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
03 October, 2003 (03.10.03)

Date of mailing of the international search report  
14 October, 2003 (14.10.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> H01L27/12, H01L21/265		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> H01L27/12, H01L21/26-21/268, H01L21/322-21/326		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-502122 A (エス オー イ テク シリコン オン インシュレータ テクノロジーズ) 2002. 01. 22, 全文, 第1-6図 & WO 99/39378 A1 & EP 1058946 A1 & FR 2774510 A1 & KR 2001040572 A & US 6429104 B1	1-5
Y	布施玄秀、外1名編著、ここまできたイオン注入技術 初版, 工業調査会, 1991. 06. 25, pp. 34-35	1-5
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	03. 10. 03	国際調査報告の発送日 14.10.03
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 萩原 周治	4L 9835
電話番号 03-3581-1101		内線 3496

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-329996 A (三菱マテリアルシリコン株式会社) 1999. 11. 30, 全文, 第1図 (ファミリーなし)	2-4